

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年1月22日 (22.01.2004)

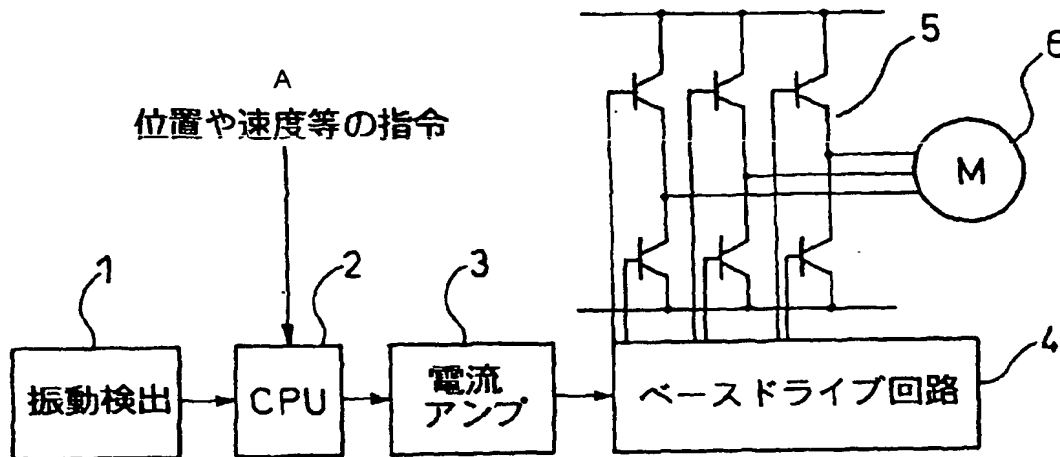
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/008624 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H02P 5/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/008548
- (22) 国際出願日: 2003年7月4日 (04.07.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-202705 2002年7月11日 (11.07.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI)
[JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城
石2番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐藤 一男
(SATO, Kazuo) [JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州
- (74) 代理人: 小栗 昌平, 外 (OGURI, Shohei et al.); 〒107-
6028 東京都港区赤坂一丁目12番32号 アーク森
ビル28階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): JP, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: SERVO CONTROL DEVICE GAIN ADJUSTMENT METHOD

(54) 発明の名称: サーボ制御装置のゲイン調整方法



A...POSITION AND SPEED INSTRUCTION
1...VIBRATION DETECTION
3...CURRENT AMPLIFIER
4...BASE DRIVE CIRCUIT

(57) Abstract: A method for adjusting gain of a servo control device suppressing irregularities depending on the position on a machine. In the method for adjusting gain of the servo control device having speed control for inputting a deviation between a speed feedback and an instruction value from the servo motor and outputting a torque instruction, a movable range of the machine is moved so that the speed loop gain is increased and vibrated at a plurality of places and then the speed loop gain is lowered to decide the gain where the vibration stops as the maximum value which is used as the gain value set according to the machine.

[続葉有]



(57) 要約: 本発明の課題は、機械の場所によるバラツキを抑えるサーボ制御装置のゲイン調整方法を提供する。本発明は、サーボモータからの速度フィードバックと指令値との偏差を入力してトルク指令を出力する速度制御を持つサーボ制御装置のゲイン調整方法において、機械の可動範囲を移動して複数の場所で、速度ループゲインを上げて振動させた後、前記速度ループゲインを下げて行き振動の収まるゲインを最大値として機械に応じたゲイン設定値とするものである。

明 細 書

サーボ制御装置のゲイン調整方法

<技術分野>

本発明は、直動テーブル、XYテーブルあるいはロボット等の機械を駆動するサーボモータの制御に関するもので、(1) 機械の動作によって機械の支持条件や姿勢などが変わった結果、振動特性が変化する場合にも対応できる機械においてサーボ制御装置のゲイン調整方法に関するもの、

(2) サーボ制御装置におけるサーボ制御ゲインを自動設定する場合に、制御ゲインを上げて振動の応答より制御ゲインを抽出する方法において、停止時振動より制御ゲインを抑制するゲイン調整方法に関するもの、

(3) 同じく、サーボ制御装置におけるサーボ制御ゲインを自動設定する場合に、特に機械等を加振手段による加振と振動を検出することによりサーボ制御ゲインの限界値を検出する方法において、オブザーバ等の制御方法を選択して最適な制御を得るゲイン調整方法に関するもの、(4) サーボ制御装置にチューニングのシーケンスを組み込んで外部からの操作とシーケンスより指令を発生し、運転してその情報からゲインを上げるなどを行うゲイン調整方法に関するものである。

<背景技術>

従来の一般的なサーボ制御装置は、図15に示すように、制御対象のサーボモータ6と、そのモータ6をベースドライブ回路4よりトランジスタ5をスイッチングして駆動するインバータ部と、位置制御、速度制御を演算するCPU2と、CPU2からの電流指令を入力してベースドライブ回路4へのドライブ指令を出力する電流アンプ3とで構成されている。

こうした、サーボ制御装置におけるゲイン調整方法の1例としては、例えば、特開平2-261083号に開示の「サーボ系の発振検出および速

度ループゲイン自動調整方式」が挙げられる。この場合は、サーボモータをスティックステップさせて逆方向へも回転させ、これを繰り返し、速度ループゲインを順次上げて振動を起こさせ、サーボモータの実速度変化を微分した加速度変化を周波数分析してサーボ系の発振を検出し、この発振周波数と、予め設定してある基準の周波数を比較しながら、発振周波数が基準周波数に一致するか、あるいは、その近傍値になるように速度ループゲインを調整している。

また、特開平 6-242833 号に開示の「自動調整サーボ制御装置」では、サーボモータに接続される負荷機械の変化に対応できるように、サーボモータの動作開始時に、予め設定済みの標準負荷時の最適パラメータを設定して動作を開始し、動作開始時から一定時間の間観察して、その間の偏差カウンタ曲線と、予め設定された標準負荷による最適パラメータを使用した場合の偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差を積分して、実際の負荷を推定し、予め作成して記憶する各種負荷とこれに対応する最適制御パラメータのテーブルを参照することで、実際の負荷に対応する最適制御パラメータに変更できる。

しかしながら、上記従来技術では、特開平 2-261083 号の場合は、ゲインを上げてサーボ系を発振させ、そのゲインを最大値としていた。つまり、ゲインが上がった所でパラメータ調整を行うため調整に余裕が無く、また、機械のある特定の場所（又は位置）で発振したゲインを算出していたので、機械の場所が変わればゲインも変わり、機械の場所毎にバラツキがあって、場所によっては振動を起こしてしまうという問題があった。

また、特開平 6-242833 号の場合は、一定時間観測しなければならぬので場所毎のバラツキは抑えられず、更に、変化するのは負荷だけなので、正確なパラメータの調整はできないという問題があった。

そこで、本発明は、機械を駆動するサーボモータ及びサーボ制御装置で、機械の特定の場所だけではなく全可働範囲を移動してゲイン調整を行うことにより、場所によるバラツキを無くし確実なオートチューニングを可

能にするサーボ制御装置のゲイン調整方法を提供することを第1の目的としている。

また、特開平2-261083号ではゲインを上げて発振させて、そのゲインを最大値としていた。つまりそこからマシン等を考慮してゲインの最大値にしたり、調整等をしていた。更に、特開平6-242833号公報では偏差カウンタから負荷の状態を推定して、負荷の状態から制御パラメータを選択して制御ゲインを調整していた。つまり負荷に応じて位置や速度制御のゲインを決めていた。

ところが、上記従来技術では、ゲインを上げて発振状態になってからでないと前兆が無いため発振が観測できないので時間がかかる問題があった。すなわち、停止中等ではゲインを上げた直後に発振するのではなく、また運転中でも図16(i)にAおよびBで示したように発生しやすいところで振動し始める。つまり機械には摩擦や負荷等があり、そしてこれらは振動を抑えるように働くので大きなきっかけがないと発振はしない。そこで図16(ii)のように発振等しやすいように1回1回早い速度、長い送りの指令をして発振が始まる迄の時間遅れを見越して1回の指令で1回ずつゲインをゆっくり上げる必要があり、そうすると最大ゲインを検出する迄の時間が長くなる問題がある。

図17はこれを見越してゲインを早く上げた場合を示しており、時点 t_1 では既にゲインを上げ過ぎており、そうすると図17のように発振を検出した時点 t_2 では、さらにゲインが上がり過ぎており、ゲインを下げて図のCで示したように容易には発振が止まらないため、マシンが大きく振動してしまう問題があった。また発振はしなくても振動気味の場合でも細かい振動や騒音等があり、問題となっていた。

そこで本発明は、制御ゲインを上げて振動させるが、停止時等の振動気味を抑えて安定させることを第2の目的とする。

さらに、制御ゲインを上げて振動させるが、早めに検出して即止めるため、マシンを大きく振動させず、最適な制御方法得ることを第3の目的と

する。

また、上記従来技術では、コントローラが指令を発生させていたのでコントローラより発振やゲインの最大値を判断してゲインの自動チューニングを行っていた。コントローラとサーボ間のデータ伝送遅れやコントローラの処理スキヤンの間隔はサーボよりも遅いため、即時に判断できない、時間がかかるという問題があった。マシン等にばらつきがあって振動等が発生しても即時にゲインを落とす等の動作ができなかった。

特開平 6—24283 号公報記載の発明でも即時に判断できないという問題があった。

そこで本発明は、外部からの操作で起動するオートチューニングの動作シーケンスをサーボ内部に組込んで発振等をリアルタイムで判断し、サーボゲインを自動調整することを第 4 の目的とする。

<発明の開示>

上記目的を達成するため、請求項 1 に記載の発明は、サーボモータからの速度フィードバックと指令値との偏差を入力してトルク指令を出力する速度制御を持つサーボ制御装置のゲイン調整方法において、機械の可動範囲を移動して複数の場所で、速度ループゲインを上げて振動させた後、前記速度ループゲインを下げて行き振動の収まるゲインを最大値として機械に応じたゲイン設定値とすることを特徴としている。

このサーボ制御装置のゲイン調整方法では、機械の可動範囲を移動し、可動範囲の中の複数の調整ポイント毎に、速度ループゲインを上げて振動させた後、振動が収まるゲインを最大値としてゲインの調整を行うので、そして振動が収まった点を使用することから振動に対しても余裕があり、また、機械の場所によるバラツキも抑えることができる。

また、請求項 2 に記載の発明は、前記ゲイン設定値は、前記複数の場所における各ゲイン値の中の最小値とすることを特徴としている。

このサーボ制御装置のゲイン調整方法では、機械の可動範囲の中の各調整ポイント毎にループゲインの調整を行い、各調整点でのループゲインの中の最小値を全体のループゲインとして決定するので、振動に対して安定で、機械の場所などによるバラツキが解消できる。

また、請求項 3 記載の制御ゲインの調整方法の発明は、サーボモータを駆動するサーボ制御装置において、制御系の振動を検出する振動検出手段を備え、制御ゲインを上げたところで、加減速等の運転を行い停止時、前記振動検出手段で振動を検出すると制御ゲインを下げる等を行い、

請求項 4 記載の発明は、請求項 3 記載の制御ゲインの調整方法において、通常運転でトルクより停止時の振動を検出して前記振動検出手段で振動を検出すると、制御ゲインを下げる等を行い、

請求項 5 記載の発明は、請求項 3 記載の制御ゲインの調整方法において、通常運転での停止時の振動を検出して前記振動検出手段で制御ゲインを上げて振動を検出すると、そこを最大ゲインとするものである。

上記手段により、通常運転を行い制御ゲイン調整で停止時振動や騒音等を発生するのを、抑えることができる。

また、請求項 6 記載の最適制御法を得る方法の発明は、サーボモータを駆動するサーボ制御装置において、制御系の振動を検出する振動検出手段を備え、制御ゲインをあげたところであるレベルの振動を与えるような模擬外乱トルクを、トルク指令に加える加振手段を持ち、加振の大きさを調整し加振し前記振動検出手段で振動検出を行い、あるレベルの振動を検出する迄前記の制御ゲインを上げ模擬外乱トルクを加える処理をくり返し、前記振動検出手段があるレベルを超えた振動を検出した時の制御ゲインを限界ゲインとする限界ゲイン抽出法で、オブザーバ等の制御方法を選択して最適な制御法を得るものである。

請求項 7 記載の発明は、請求項 6 記載の制御ゲインの調整方法において、

前記オブザーバ等の制御方法を選択して最適制御法を得る方法において、限界ゲインの高い制御方法を最適な制御方法として選択するものである。

請求項 8 記載の発明は、請求項 6 記載の制御ゲインの調整方法において、前記オブザーバ等の制御方法を選択して最適制御法を得る方法において、限界ゲインの高い制御方法を最適な制御方法とする場合で、限界ゲインが同じ場合模擬外乱トルクを増すことにより、あるレベルの振動を検出する制御ゲインの余裕を検出し、余裕が大きい制御方法を選択するものである。

上記手段により、確実に機械に合った制御ゲインでマシンを振動させて早く最大ゲインを得られ、自動的に最適な制御方法を選択、調整ができるようになる。

請求項 9 記載の制御ゲインの調整方法の発明は、サーボモータからの速度フィードバックと指令値との偏差を入力してトルク指令を出力する速度制御を持つサーボ制御装置のゲイン調整方法において、サーボモータを駆動するサーボ制御装置にチューニングのシーケンスを組み込んで、操作器による外部からの操作とシーケンスより指令を発生し、運転してその情報からゲインを調整するチューニング法を用いたものである。

上記手段により、外部からの操作によるシーケンスをサーボ内部で組み込んでいるので、リアルタイムで判断することができ、また何かあった時に即時に情報等より判断することができる。さらに、マシン等のぼらつき等で振動等が発生しても、即対応することができるようになる。

<図面の簡単な説明>

図 1 は、本発明の各実施の形態に共通して関係するサーボ制御装置の構成図である。

図 2 は、図 1 に示すサーボ制御装置の制御ブロック図である。

図 3 は、ゲインを上げて振動し、ゲインを下げた時のゲインとトルク波形のタイミングを示す図である。

図 4 は、図 1 に示すサーボ制御装置で駆動する機械の可動範囲を示す図である。

図 5 は、第 2 および第 3 の実施の形態に係る制御ブロック図である。

図 6 は通常運転した時の速度指令、速度、トルクの波形と振動レベルの測定タイミング図である。

図 6 (i) は停止時振動レベル検出タイミング、

図 6 (ii) は停止時振動レベルの拡大、

図 6 (iii) は制御ゲインの調整タイミングである。

図 7 は速度ループゲインと停止時のトルクの振幅の関係図の例である。

図 8 は本案の制御ゲイン調整する概略フローチャートである。

図 9 は通常運転した時の速度指令、速度、トルクの波形と振動レベルの測定タイミング図である。

図 10 は制御ゲインを上げて振動を発生及び振動発生時のゲイン低下、最大ゲイン抽出タイミング図である。

図 11 は本案の最大ゲインを抽出する概略フローチャートである。

図 12 は第 4 の実施の形態に係る動作を説明するサーボ制御装置の構成図である。

図 13 は、シーケンス例である。

図 14 は、ゲインとトルク又は速度等の波形のタイミング図である。

図 15 は、従来のサーボ制御装置を示す図である。

図 16 (i) は通常運転で振動する場合のタイミング図である。

図 16 (ii) は通常運転でゲインを上げて行くタイミング図である。

図 17 は通常運転で調整する場合でゲインを早く上げて、大きく発振した例の図である。

なお、図中の符号は以下のとおりである。

- 1 : 振動検出手段、
- 2 : マイクロコンピュータ、
- 3 : 電流アンプ、

- 4 : ベースドライブ回路、
- 5 : パワートランジスタモジュール、
- 6 : モータ
- 11 : 速度制御ブロック
- 12 : $1/J S$
- 21 : テーブル
- 22 : ボールネジ
- 51 : 位置ループゲイン、
- 52 : 速度制御、
- 53 : モータ及び負荷に相当する $1/J S$
- 54 : 積分
- 61 : 操作器

<発明を実施するための最良の形態>

以下、本発明の第1の実施の形態について図を参照して説明する。

図1は本発明の実施の形態に係るサーボ制御装置の構成図である。

図2は図1に示すサーボ制御装置の制御ブロック図である。

図3はゲインを上げて振動し、ゲインを下げた時のゲインとトルク波形のタイミングを示す図である。

図4は図1に示すサーボ制御装置の機械の可動範囲を示す図である。

図1において、1は振動検出回路、2はCPU、3は電流アンプ、4はベースドライブ回路、5はパワートランジスタモジュール、6はモータである。

図2は速度制御のブロック図であり、11は速度制御を表し、例えば速度制御の場合、速度指令を入力して、速度ループゲイン K 、積分時定数 T_i 、といった調整ゲインを有してトルク指令を出力し、モータ及び負荷に相当する $1/J S$ (12)を駆動して、速度フィードバック ω と速度指令を減算器に入力して速度偏差をなくすように速度制御を行う。

図 3 はループゲインとトルク波形のタイミングを示す図であり、ゲインを $G_0 \rightarrow G_1$ に上げた時に、同図下に示すトルク又は速度が発振し、そこでゲインを G_2 に下げて定常状態に調整する手順を示している。

この場合の振動検出については、従来技術の特開平 2-261083 号のように、サーボモータをスティックステップ（正転、反転の繰り返し）状態にしてパラメータのゲインを上げて行き、CPU により FFT などを用いて振幅と周波数分析を行って振動を検出する方式や、その他、CPU のサンプリング周期毎にトルク指令値 $T(i)$ と、 $T(i-1)$ の差分を求めて、所定期間内の符号の反転回数を統計演算して推定する等の方法でもよい。また、ゲインに伴い積分ゲインやトルクフィルタ等を連動するようにしてもよい。

更に、ゲインが上がらない場所ではフィルタ等で機械の振動を抑えて、再度ゲインを上げて調整するようにしてもよい。

つぎに動作について説明する。

マイクロコンピュータ 2 は位置や速度といった指令を外部のコントローラ等から受取る。そして、例えば、速度指令の場合は図 2 のブロック図の速度制御 11 のように速度制御を行い、その出力の電流指令や電流制御の出力で、図 1 に示すようなベースドライブ回路 4 を通してパワートランジスタ 5 をスイッチングしてモータ 6 を制御し、例えば図 4 に示すようなボールネジ 22 やテーブル 21 等の機械を駆動する。

ここで、振動検出回路 1 は、所定レベルを超えた場合に振動を検出するが、図 4 のような機械の可動範囲中に複数の調整ポイントを移動して調整を実施する。まず、各測定ポイントで、図 3 に示すように、ゲイン $G_0 \rightarrow G_1$ へ上げる過程で振動を検出したら、ゲインを下げて振動が収まるゲイン G_2 を最大値とする調整を行う。このゲイン調整を移動した調整ポイント毎に機械の可動範囲全体に互って実施する。

そして可動範囲全域でゲイン調整を行って、各調整ポイントの調整ゲイ

ンの中の最小値を全体の調整ゲインとする。そして機械の特性等も考量し、又は再確認して速度制御系のゲイン設定を行うようにすれば、より実際的である。

なお、速度制御 1 は単純な比例積分制御（P I 制御）ではゲインは、

$$K / (1 + T_i S) \quad (1)$$

但し、K：速度ループゲイン

T_i：積分時定数

となるが、比例積分（P I）制御以外の I P 制御、P I D 制御などの制御方法でも同様に行うことができる。

以上説明したように、第 1 の実施の形態によれば、機械の可動範囲を移動して各ポイントで速度ループゲインを上げて振動を検出し、その振動が収まるゲインを最大値として検出し、これら各調整値の中の最小値を調整ゲインとする調整を実施することによって、振動に対して余裕がある安定な調整が可能になり、機械の場所等によるバラツキも抑えることができるという効果がある。

また、機械自体の調整にも適用できるという効果がある。

次に、図 1 の回路における第 2 の実施の形態に係る動作を図 5 の制御ブロック図、図 6 のタイミング図、図 7 の最大ゲイン抽出タイミング図、及び図 8 のフローチャートを用いて説明する。

まず、図 1 の C P U（マイクロコンピュータ）2 は位置や速度といった指令を外部のコントローラ等から受取る。そして例えば速度指令の場合は速度制御を行いその出力の電流指令や電流制御の出力でベースドライブ駆動回路 4 を通してパワートランジスタ 5 を駆動してモータ 6 を制御する。ここで振動検出手段 1 は、停止時トルク指令中に含まれる振動成分が、あらかじめ定めたレベルを超えた場合に、振動を検出する。検出レベルは例えば図 6（i）のように低ゲインで運転して、通常運転時の停止時のト

トルク振動振幅レベルを図 6 (ii) のように検出する。この低ゲイン時の振動レベルの例えば 5 倍程度を振動の検出レベルとすれば良い。

制御ゲインの検出は最初に図 6 (i) のように、低ゲインで停止時にトルクの振幅を観測する。次に図 6 (iii) のようにゲインを上げて通常運転を行い、その停止時にトルクの振幅を測定して低ゲイン時の例えば 5 倍程度以上の場合、その制御ゲインを最大ゲインとする。ゲインを上げていくと大きな発振はしないが停止時に微小な振動をすることがある。この振動を抑えることができるように、自動ゲイン調整を行う。

停止時に振動が発生している時の速度ループゲインとトルクの振動の振幅の関係は図 7 のようになり、ある速度ループゲイン以上になると急峻にトルクの振動の振幅は大きくなる。そこで急峻に大きくなることを最大ゲインと決めることができる。

一連の動作を説明すると以下のようになる。

まず図 8 のフロー 1 で低ゲインにて加減速等の運転を行い、停止時のトルクの振動レベルを検出する。次に図 8 のフロー 2 で制御ゲインが限界かどうかを判断する。この限界値は機械の特性等で判断しても良いし測定等しても良い。限界値であれば最大値として調整を終了し、限界値でなければ以下のゲインの調整を継続する。図 8 のフロー 3 では加減速等の運転を行い、図 8 のフロー 4 で停止時のトルクの振動がレベルを超えているか判断する。越えていれば図 8 のフロー 5 で制御ゲインを下げ、それ迄のゲインを最大ゲインとして調整を終了する。越えていなければ制御ゲインを上げて、図 8 のフロー 2 ～ 4 の動作を繰り返す。このようにして制御ゲインの調整を行う。

振動検出回路 1 (図 1) はマイクロコンピュータ 2 で行っても良い。また制御ゲインに伴い積分ゲインやトルクフィルタ等を連動させても良い。

第 2 の実施の形態によれば、通常運転を行い制御ゲイン調整で停止時振動や騒音等を発生するのを抑えることができ、制御ゲインを安定させるこ

とができるという効果がある。

次に、図 1 の回路における第 3 の実施の形態に係る動作を図 5 の制御ブロック図、図 9 のタイミング図、図 10 の最大ゲイン抽出タイミング図、及び図 11 のフローチャートを用いて説明する。

図 5 の制御のブロックは図 1 の CPU 2 が行う位置制御演算を示すもので、図において、位置指令に負荷からの位置フィードバックを差し引き、位置ループゲイン 51 で K_p 倍し位置制御を行い、これと速度フィードバック ω との差を速度制御 52 に入力してトルク指令を出力し、モータ及び負荷に相当する $1/J S$ 53 で駆動される。その速度 ω を積分 54 で積分して位置となる。

そこで、図 1 の CPU 2 は位置や速度といった指令を外部のコントローラ等から受取と、そして例えば速度指令の場合は速度制御演算を行いその出力の電流指令や電流制御の出力でベースドライブ駆動回路 4 を通してパワートランジスタ 5 を駆動してモータ 6 を制御する。ここで振動検出手段 1 は、トルク指令あるいはモータの速度信号中に含まれる振動成分が、あらかじめ定めたレベルを超えた場合に、振動を検出する。検出レベルは例えば図 9 のように通常運転或いは運転して機械特有の運転時の振動振幅レベルを検出する。この図では通常運転でのトルクの振動振幅の最大値を検出している。この通常時の振動レベルの例えば 3 倍程度を振動の検出レベルとすれば良い。

制御ゲインの検出はまず最初に低ゲインでトルク指令に模擬外乱トルクを加えて、応答を確認する。ここで応答がなければ模擬外乱トルクを大きくする。ある程度大きく応答が大きくなるまで模擬外乱トルクを大きくするか、応答のレベルを下げる等する。

そして次に徐々に制御ゲインを上げては図 5 のトルク指令に模擬外乱トルクを加えて、振動を確認する。振動の確認は停止しているので、例えば速度やトルクの振幅より得る。振動を検出したら制御ゲインを振動しな

いゲイン又はトルクを絞る等して振動を停止させる。最終的に振動した制御ゲインを算出する。その制御ゲインを最大ゲインとする。

ゲイン調整方法の具体的な検出手順は、以下のようになる。最初に図 11 のステップ 1 のように位置ループや速度ループといった制御系のゲインを低ゲインとしておき、図 9 のように通常運転或いは運転して機械特有の運転時の振動レベルを検出する。この図では通常運転でのトルクの振動振幅の最大値を検出している。

次に図 11 のステップ 2 のように位置ループや速度ループといった制御系のゲインを低ゲインとしておき、図 5 の制御ブロック図のトルク指令 τ_{ref} に模擬外乱トルクをステップで加えて、図 11 のステップ 3 のように位置偏差或いは速度等の応答をあるレベル以上あることを確認する。ここで、あるレベル以上の応答がなければ、加えた模擬外乱トルクが機械負荷を超えられなかったと考え、模擬外乱トルクを大きくする。あらかじめ定めたレベルまで、応答が大きくなるように模擬外乱トルクを大きくする。この応答のレベルは前記図 11 のステップ 1 のように例えば通常の運転中の振動振幅の最大値を 2 倍等にする。そして模擬外乱トルクがあるレベルまで大きくしても応答が大きくなならない場合、応答の検出レベルを下げる。このようにして模擬外乱トルクの大きさとその応答の検出レベルを調整する。

模擬外乱トルクの大きさを決めた後で、次に図 10 に示すような時間タイミングで段階的に制御ゲインを上げる。図 11 のステップ 4～6 の処理のように制御ゲインを上げたところで、トルク指令に模擬外乱トルクを加え振動検出手段 1（図 1）にて、振動を確認する。振動検出手段 1 は例えばトルク又は速度等の振幅を振動検出レベルと比較し、大きい場合振動として検出する。振動レベルは前に調整した応答レベルの 1.5 倍等する。

模擬外乱トルクを加えた後に図 11 のステップ 6 ようにあるレベルを超えて振動を検出したら、図 10 のようなタイミングで模擬外乱トルクを加えるのは停止し、図 11 のステップ 7 のように制御ゲインを振動しない

レベル迄下げる（例えば、振動したゲインの半分あるいは、最初に設定した低いゲイン等）。あるいは、確実に振動を止めるため、トルク指令を絞るか、位置偏差を一瞬ゼロ等する。そして図 11 のステップ 8 のように振動した時の制御ゲインの 1 つ前の制御ゲインと制御方式をマイクロコンピュータ内等の記憶手段内に最大ゲインとして記憶しておく。記憶した制御ゲインがその制御方式での最大ゲインである。次に図 11 のステップ 9 のように制御方式を一通り行ったかを確認する。ここでやるべき制御方式がまだある場合には図 11 のステップ 10 のように制御方式を変えて、図 11 のステップ 4 からの最大ゲインの検出を行う。そして図 11 のステップ 9 で制御方式を一通り行った場合には、図 11 のステップ 11 で制御ゲインの上がった制御方式を最適な制御方式として選択する。

振動検出回路 1 はマイクロコンピュータ 2 で行っても良い。また制御ゲインに伴い積分ゲインやトルクフィルタ等を連動させても良い。

第 3 の実施の形態によれば、マシンに合わせた模擬外乱トルクで確実に振動させて最大ゲインを得られ、しかも振動後即ゲインを落として抑えることができるので、大きくゲインを上げなくて済む。そして振動することによる危険を防止することができるという効果がある。更に自動的に最適な制御方法を選択、調整ができるという効果がある。

次に、図 12 の回路における第 4 の実施の形態に係る動作を、図 13 のシーケンス例、及び図 14 のタイミング図を用いて説明する。

まず、図 12 の CPU（マイクロコンピュータ）2 は通常、位置や速度といった指令を外部のコントローラ等から受取る。そして例えば速度指令の場合は速度制御を行い、その出力の電流指令や電流制御の出力でベースドライブ駆動回路 4 を通してパワートランジスタ 5 を駆動する。

ここで調整操作の為に操作器 61 を抜いて人が調整操作を行う。その場合、例えば図 13 のシーケンス例のように行う。シーケンスはマイクロコ

ンピュータ 2 で行う。

シーケンスは、まず、例えば図 4 のような可動範囲を分割して移動する（ステップ 1）か、途中ゲインを上げて（ステップ 2）、振動等の様子を見る等する（ステップ 3）。次に、ゲインが決定されると可動範囲を早送り（ステップ 4）で振動等が発生しないことを確認する。そこで振動等が発生すると振動等を検出してゲインを下げる等する（ステップ 3）。その後、通常で速度で位置決めを確認する（ステップ 5）。このシーケンスはあらかじめ決めておいても良く、また自由に組み替えることができる形でも良い。指令はシーケンスで自動で作成しても良く、外部から指令される形でも良い。このようにして一連の調整動作を行う。

以上のように、第 4 の実施の形態によれば、サーボモータを駆動するサーボ制御装置でサーボ制御装置にチューニングのシーケンスを組み込んで操作器による外部からの操作とシーケンスより指令が発生し、運転してその情報からゲインを上げ下げするので、リアルタイムで判断することができ、即時に振動情報等より判断することができる。また、マシン等のばらつき等で振動等が発生しても、即ゲインを落としたり停止したりに対応をすることができる効果もある。

以上、本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

<産業上の利用可能性>

以上説明したように、本発明によれば、機械の可動範囲を移動して各ポイントで速度ループゲインを上げて振動を検出し、その振動が収まるゲインを最大値として検出し、これら各調整値の中の最小値を調整ゲインとする調整を実施することによって、振動に対して余裕がある安定な調整が可

能になり、機械の場所等によるバラツキも抑えることができるという効果がある。

また、機械自体の調整にも適用できるという効果がある。

さらに、通常運転を行い制御ゲイン調整で停止時振動や騒音等を発生するのを抑えることができ、制御ゲインを安定させることができる。

また、マシンに合わせた模擬外乱トルクで確実に振動させて最大ゲインを得られ、しかも振動後即ゲインを落として抑えることができるので、大きくゲインを上げなくて済む。そして振動することによる危険を防止することができる効果がある。更に自動的に最適な制御方法を選択、調整ができる。

そして、外部からの操作によりシーケンスを内部で組み込んでいるので、リアルタイムで判断することができる。即時に振動情報等より判断することができる。マシン等のばらつき等で振動等が発生しても、即ゲインを落とす、停止する等対応することができる効果もある。

請 求 の 範 囲

1. サーボモータからの速度フィードバックと指令値との偏差を入力してトルク指令を出力する速度制御を持つサーボ制御装置のゲイン調整方法において、

機械の可動範囲を移動して複数の場所で、速度ループゲインを上げて振動させた後、前記速度ループゲインを下げて行き振動の収まるゲインを最大値として機械に応じたゲイン設定値とすることを特徴とするサーボ制御装置のゲイン調整方法。

2. 前記ゲイン設定値は、前記複数の場所における各ゲイン値の中の最小値とすることを特徴とする請求項 1 記載のサーボ制御装置のゲイン調整方法。

3. サーボモータを駆動するサーボ制御装置において、制御系の停止時の振動を検出する振動検出手段を備え、制御ゲインを上げたところで加減速等の運転を行い停止時、前記振動検出手段で振動を検出すると制御ゲインを下げる等することを特徴とする制御ゲインの調整方法。

4. 前記制御ゲインの調整方法において、通常運転でトルクより停止時の振動を検出して前記振動検出手段で振動を検出すると、制御ゲインを下げる等することを特徴とする請求項 3 記載の制御ゲインの調整方法。

5. 前記制御ゲインの調整方法において、通常運転での停止時の振動を検出して前記振動検出手段で制御ゲインを上げて振動を検出すると、そこを最大ゲインとすることを特徴とする請求項 3 記載の制御ゲインの調整方法。

6. サーボモータを駆動するサーボ制御装置において、制御系の振動を検出する振動検出手段と、制御ゲインをあげたところであるレベルの振動を与えるような模擬外乱トルクをトルク指令に加える加振手段とを備え、加振の大きさを調整して該加振手段により加振し、前記振動検出手段で振動検出を行い、あるレベルの振動を検出する迄前記制御ゲインをあげ模擬外乱トルクを加える処理をくり返し、前記振動検出手段があるレベルを超えた振動を検出した時の制御ゲインを限界ゲインとする限界ゲイン抽出法で、オブザーバ等の制御方法を選択することを特徴とする制御ゲインの調整方法。

7. 前記限界ゲイン抽出法でオブザーバ等の制御方法を選択するに際し、前記限界ゲインの高い制御方法を最適な制御方法として選択することを特徴とする請求項6記載の制御ゲインの調整方法。

8. 前記限界ゲインの高い制御方法を最適な制御方法とする場合で、限界ゲインが同じ場合模擬外乱トルクを増すことにより、あるレベルの振動を検出する制御ゲインの余裕を検出し、余裕が大きい制御方法を選択することを特徴とする請求項7記載の制御ゲインの調整方法。

9. サーボモータからの速度フィードバックと指令値との偏差を入力してトルク指令を出力する速度制御を持つサーボ制御装置のゲイン調整方法において、サーボモータを駆動するサーボ制御装置にチューニングのシーケンスを組み込んで、操作器による外部からの操作とシーケンスより指令を発生し、運転してその情報からゲインを調整するチューニング法を用いたことを特徴とする制御ゲインの調整方法。

図 1

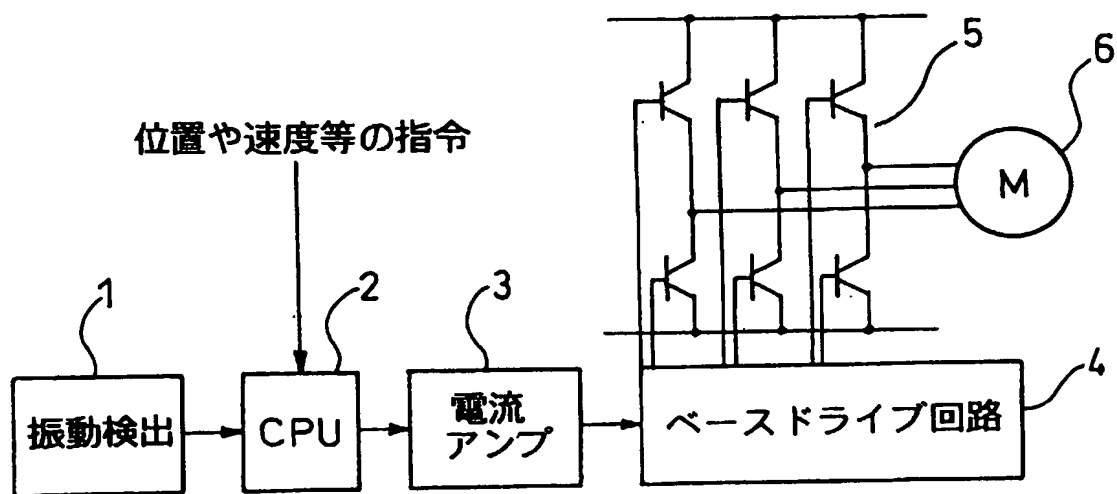


図 2

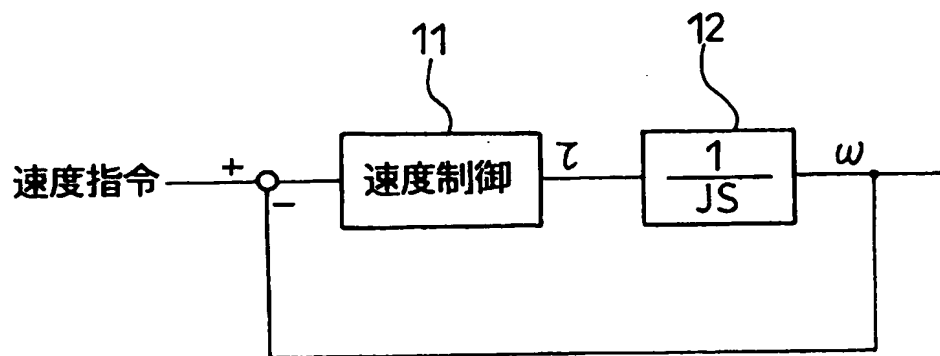


図 3

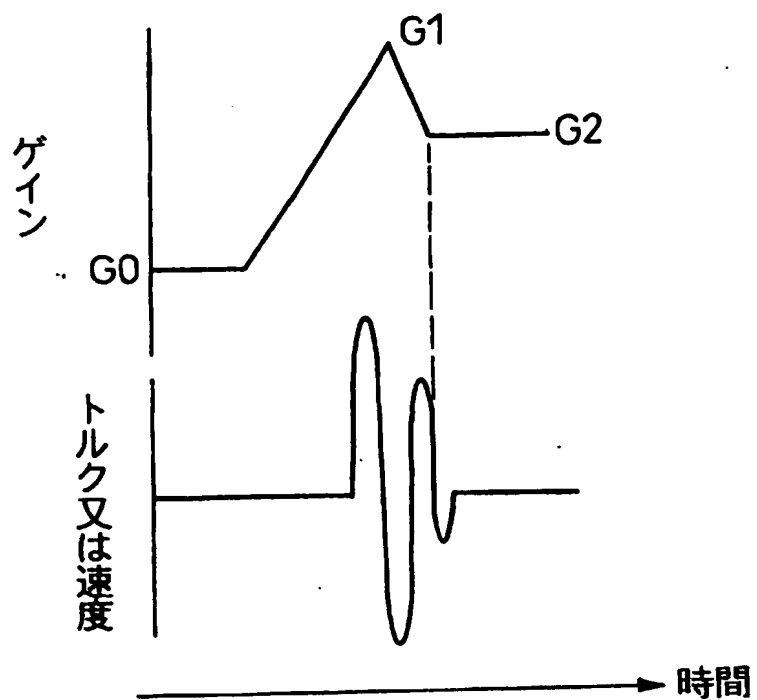


図 4

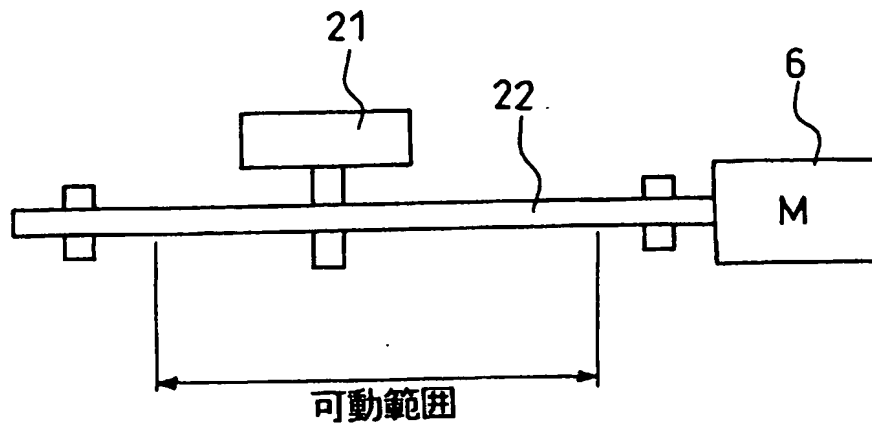


図 5

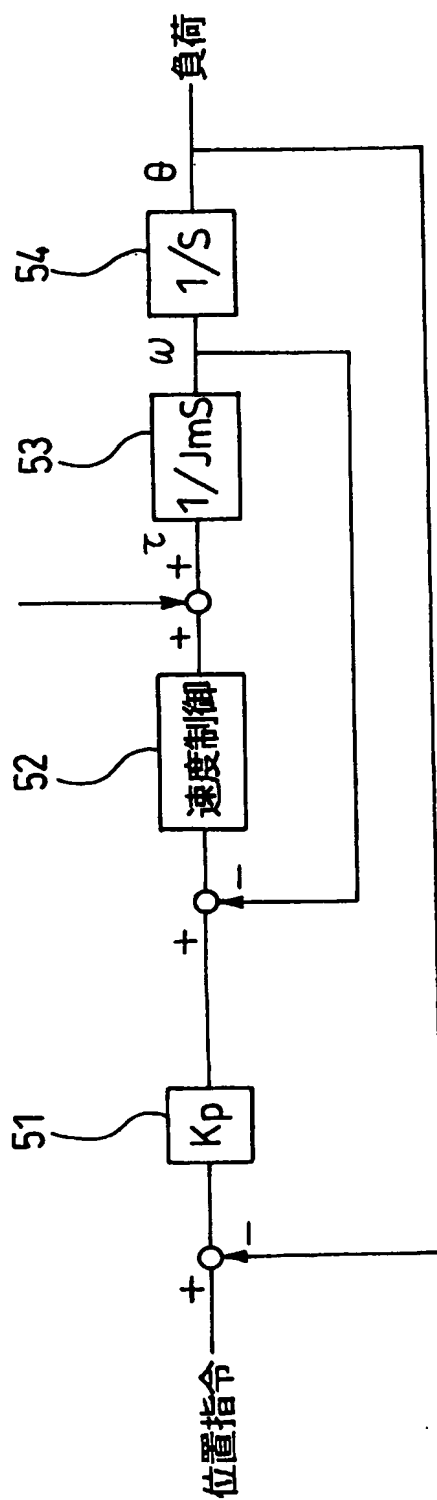


図 6

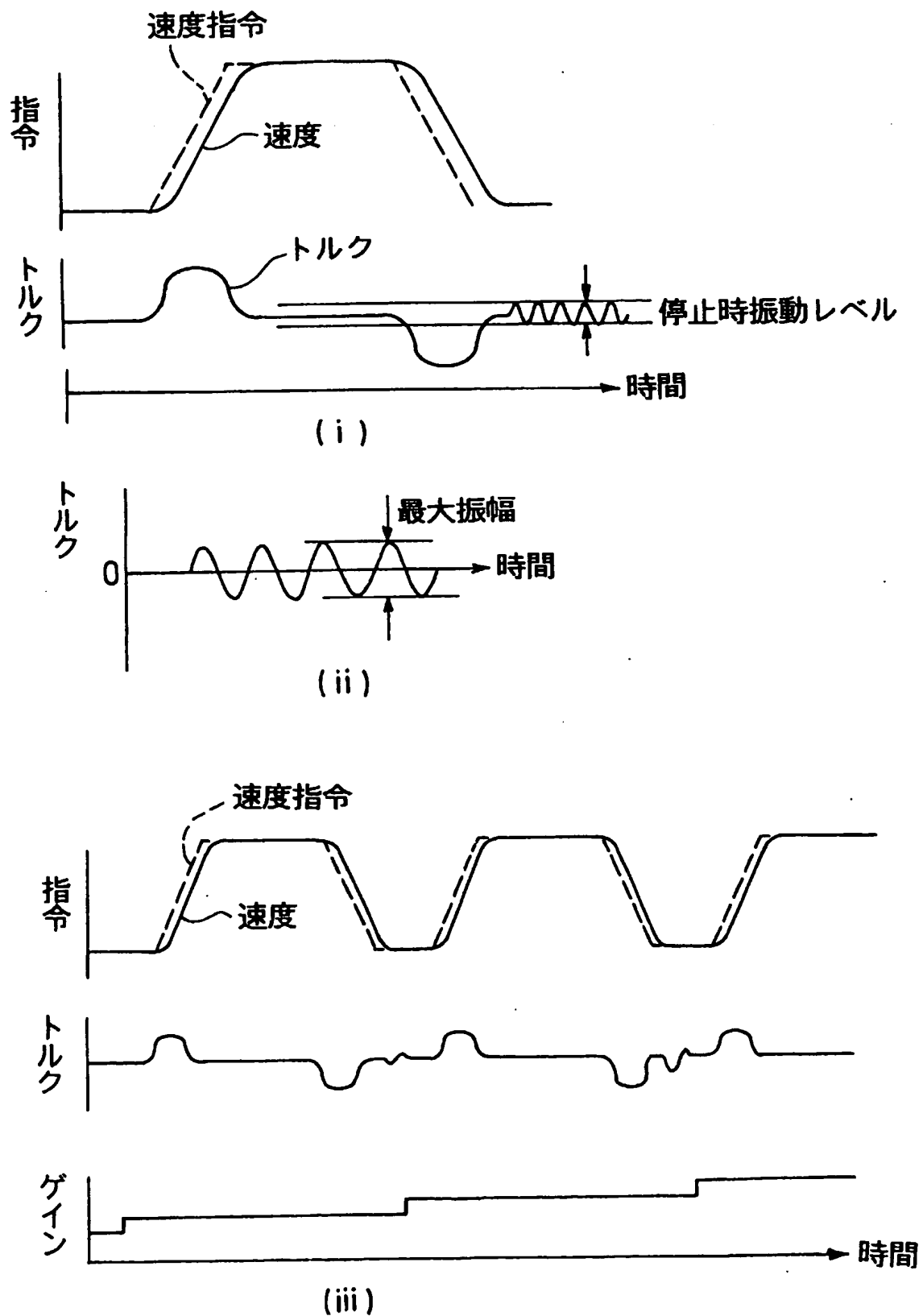


図 7

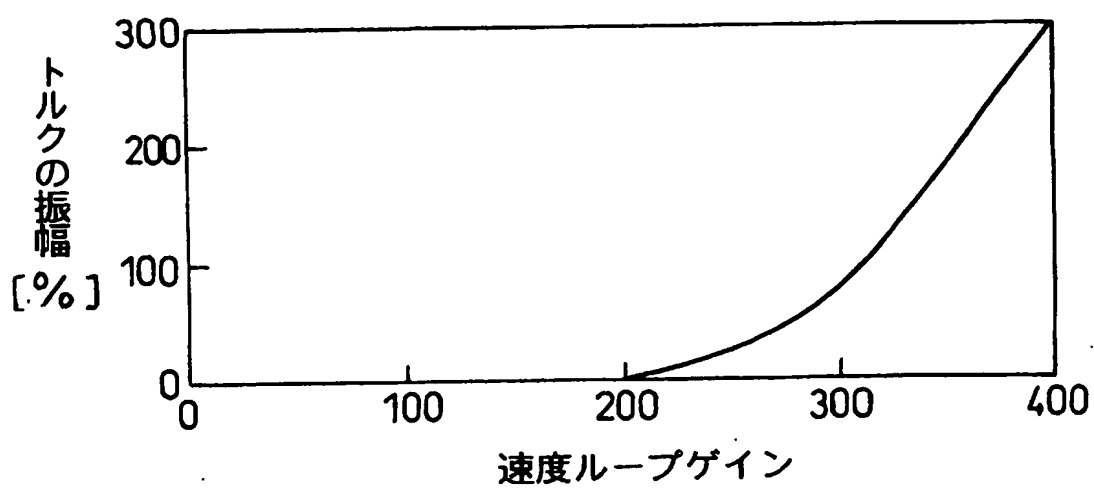
 $JL = 0$ 停止時振動

図 8

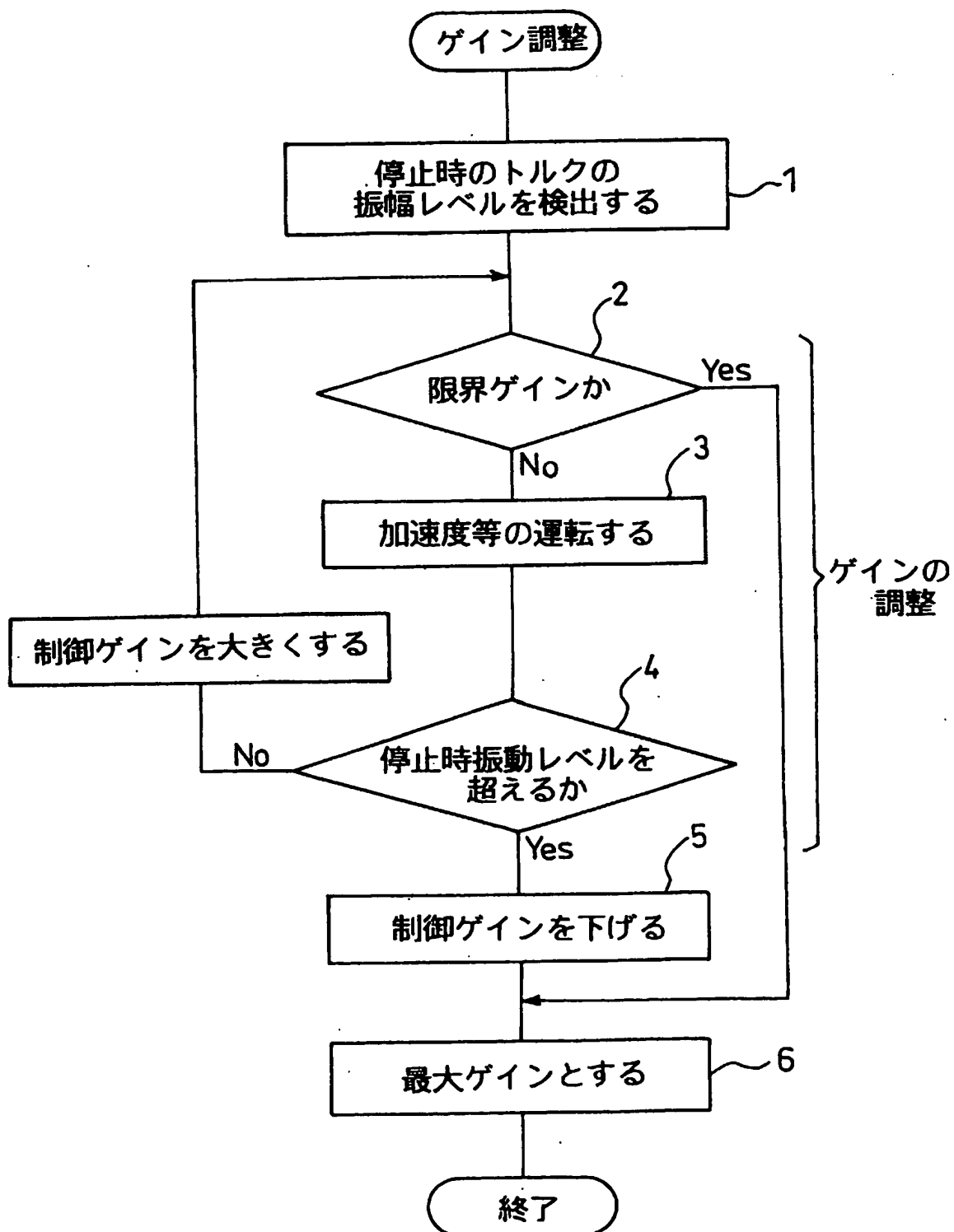


図 9

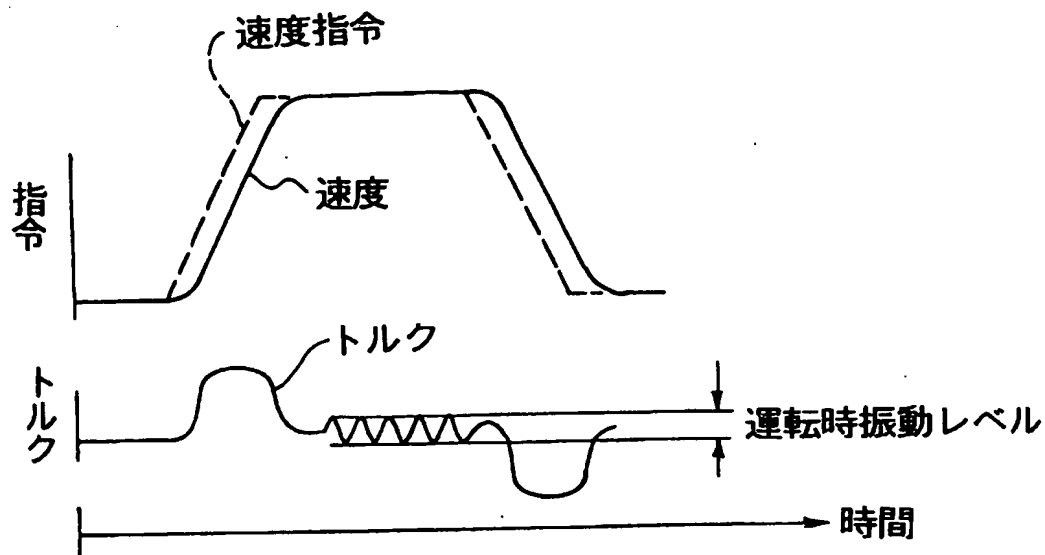


図 10

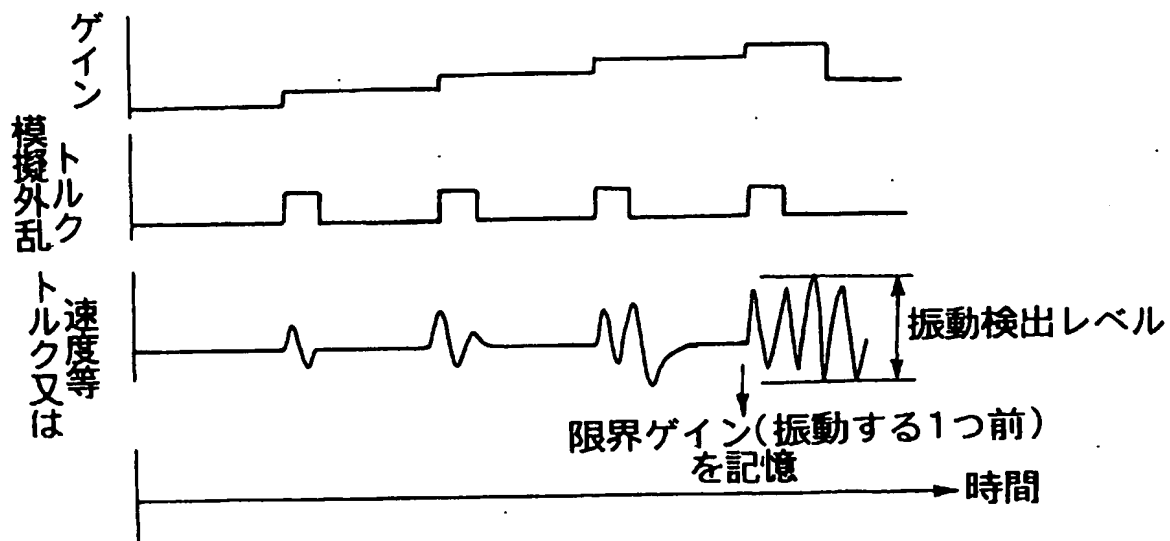


図 11

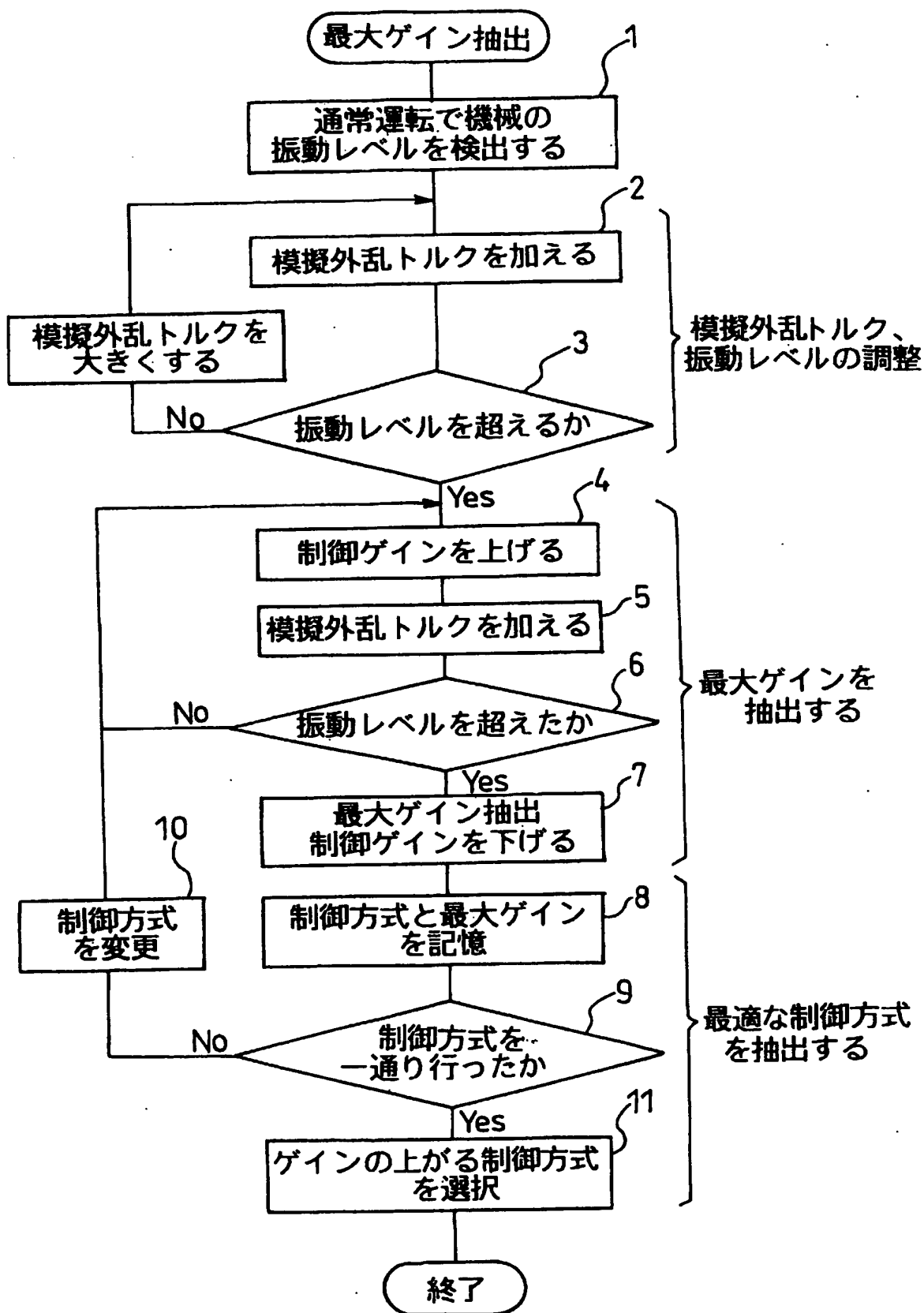


図 12

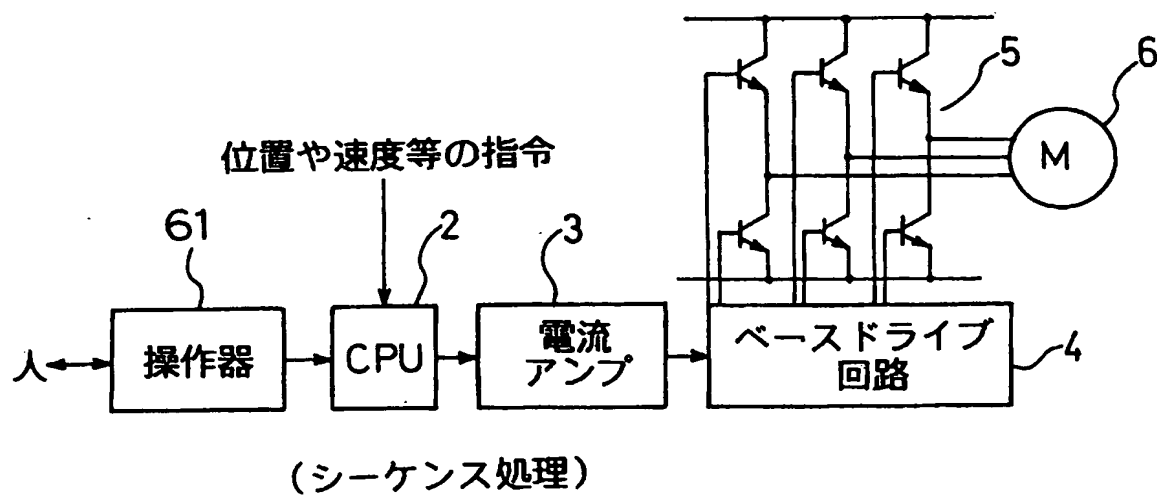


図 13

シーケンス例

1. 可動範囲を移動する。
2. ゲインを上げる。
3. 振動を観測する。 → 振動したら少しゲインを下げる。
4. 可動範囲を早送りする。
5. 通常で速度で位置決めを確認する。
- 6.

図 14

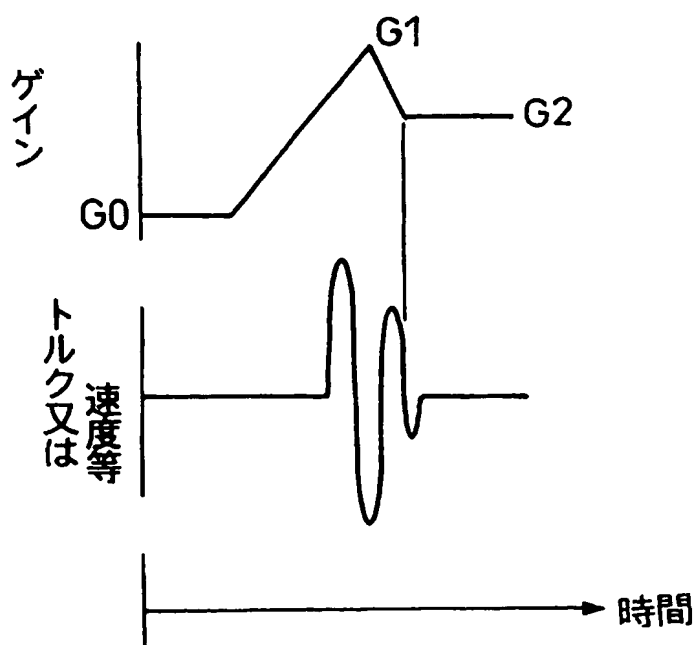


図 15

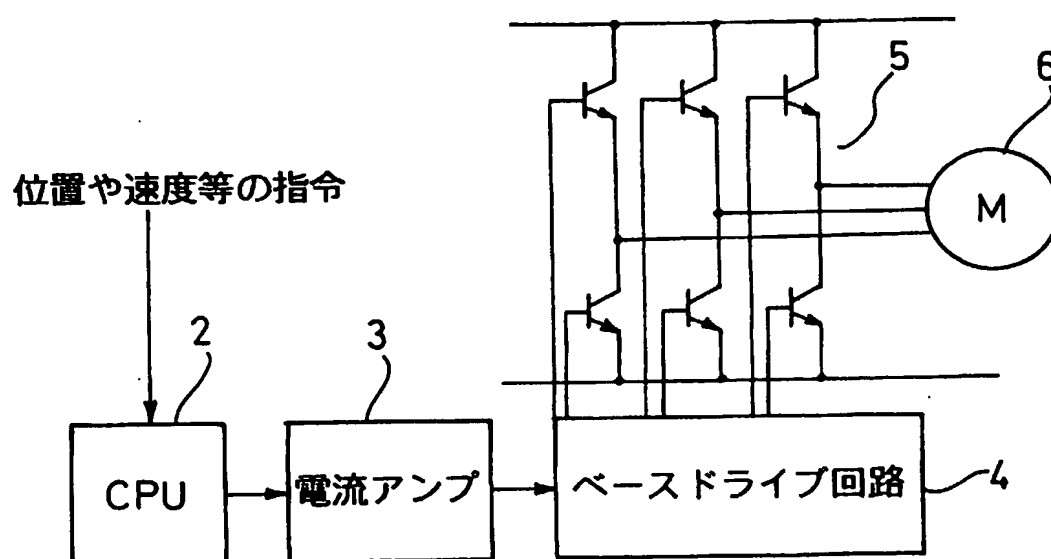


図 16

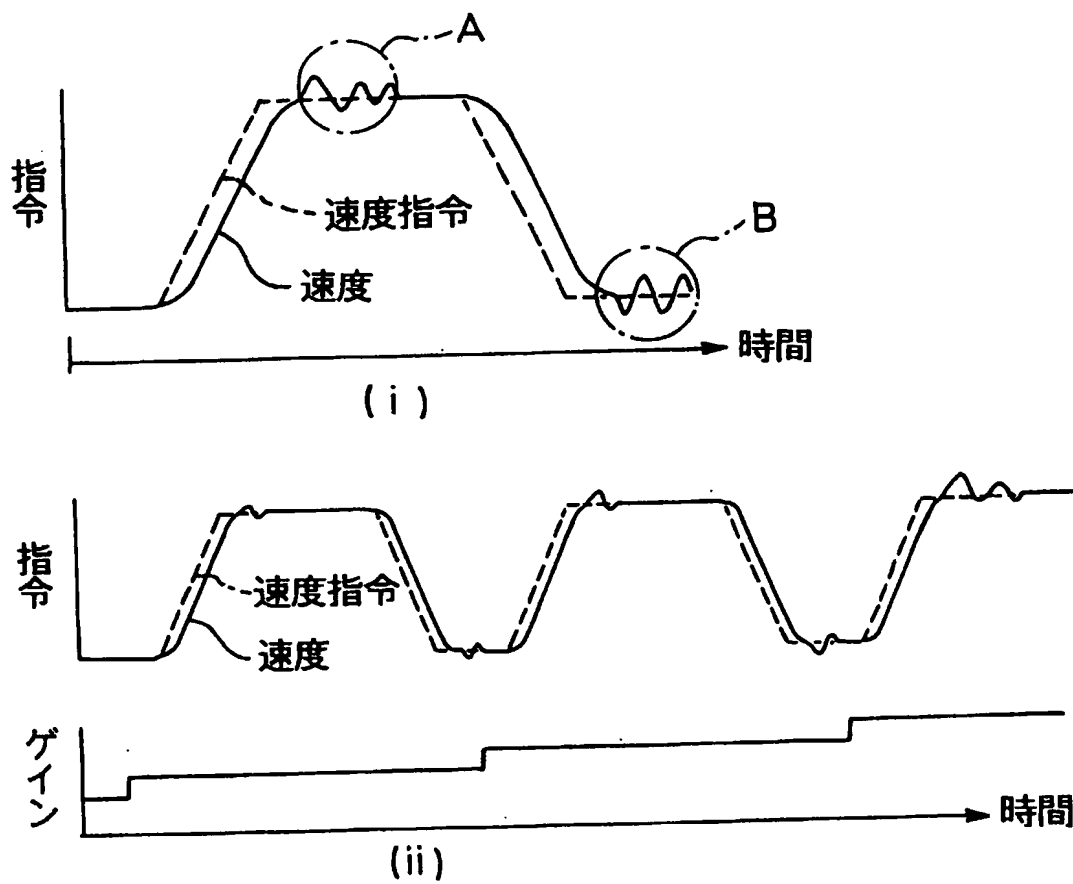
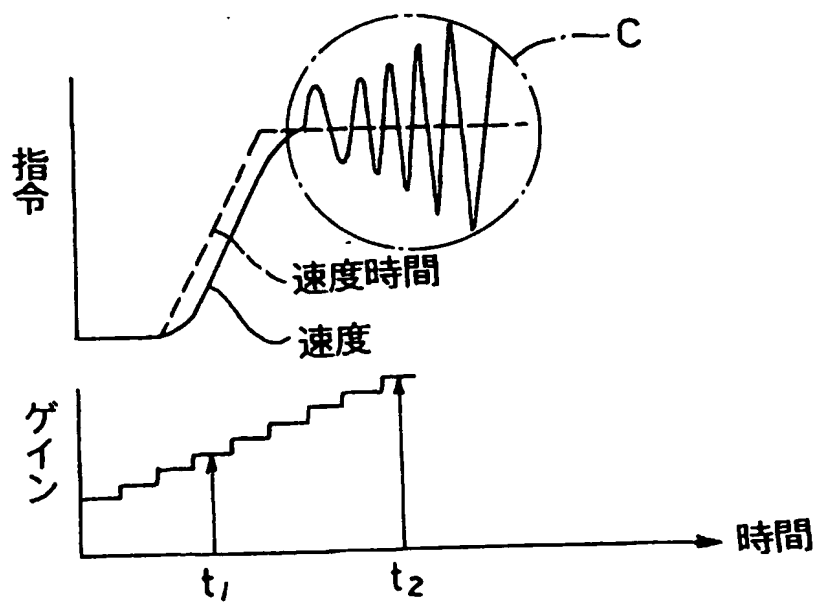


図 17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/08548

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H02P5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H02P5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5936366 A (Toshiba Kikai Kabushiki Kaisha), 10 August, 1999 (10.08.99), & JP 11-102211 A	1-8
Y	JP 7-281708 A (Nippondenso Co., Ltd.), 27 October, 1995 (27.10.95), (Family: none)	1-8
Y	US 5475291 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 12 December, 1995 (12.12.95), & JP 6-319284 A	9
Y	JP 11-346492 A (Mitsubishi Electric Corp.), 14 December, 1999 (14.12.99), (Family: none)	9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	---

Date of the actual completion of the international search
04 September, 2003 (04.09.03)

Date of mailing of the international search report
16 September, 2003 (16.09.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/08548

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5157597 A (Fanuc Ltd.), 20 October, 1992 (20.10.92), & JP 2-261083 A & WO 90/07735 A1 & EP 401383 A	1-9
A	JP 11-313495 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 09 November, 1999 (09.11.99), (Family: none)	1-9
A	JP 6-242833 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 02 September, 1994 (02.09.94), (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02P 5/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02P 5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996
 日本国公開実用新案公報 1971-2003
 日本国登録実用新案公報 1994-2003
 日本国実用新案登録公報 1996-2003

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US 5936366 A (Toshiba Kikai Kabushiki Kaisha) 1999. 08. 10 & JP 11-102211 A	1-8
Y	JP 7-281708 A (日本電装株式会社) 1995. 10. 27 (ファミリーなし)	1-8
Y	US 5475291 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.) 1995. 12. 12 & JP 6-319284 A	9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04. 09. 03

国際調査報告の発送日

16.09.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

川端 修

3V

8718

電話番号 03-3581-1101 内線 3356

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-346492 A (三菱電機株式会社) 1999. 12. 14 (ファミリーなし)	9
A	US 5157597 A (Fanuc Ltd.) 1992. 10. 20 & JP 2-261083 A & WO 90/07735 A1 & EP 401383 A	1-9
A	JP 11-313495 A (三菱重工業株式会社) 1999. 11. 09 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 6-242833 A (松下電器産業株式会社) 1994. 09. 02 (ファミリーなし)	1-9